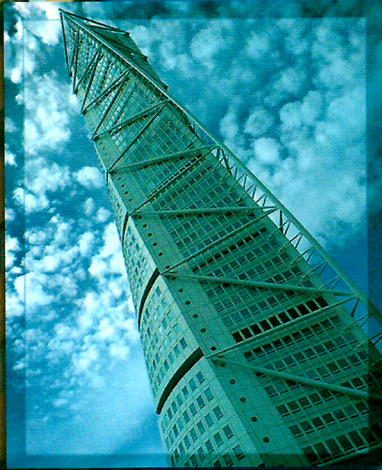


أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

الأستاذ الدكتور

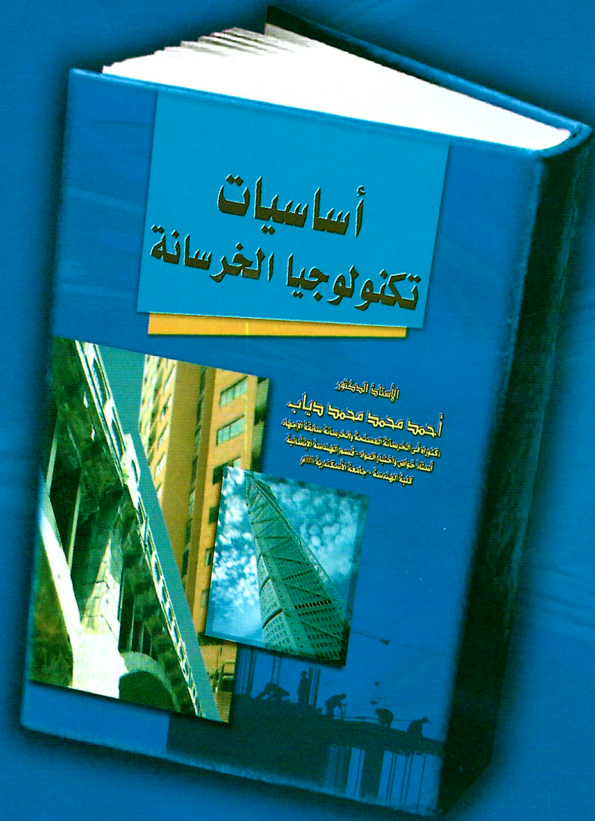
أحمد محمد دياب

دكتوراه في الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد
أساتذة خواص واختبار المواد - قسم الهندسة الإنشائية
كلية الهندسة - جامعة الإسكندرية

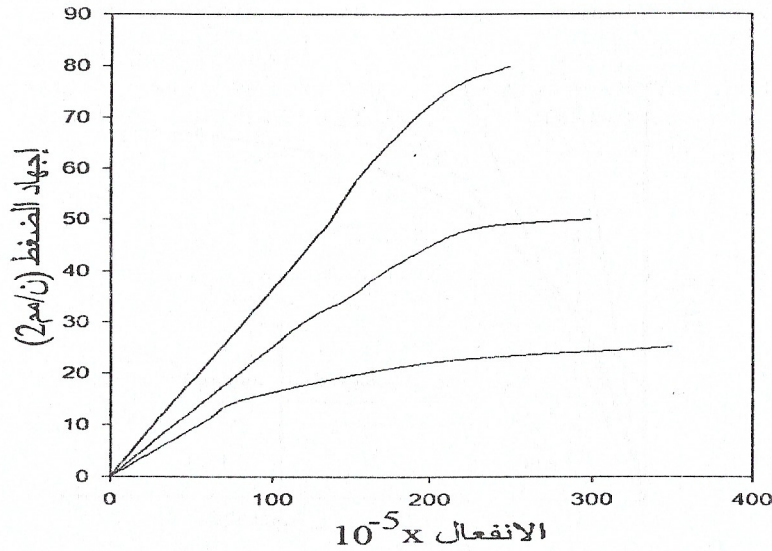


أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

أ.د. أحمد محمد دياب



SCANED BY
ENG.OSAMA TAREK



شكل (1-9) علاقة تخطيطية بين الإجهاد والانفعال

من هذا الشكل يتضح أنه كلما زادت مقاومة الخرسانة يتحسن معايير المرونة ولكن تقل استطالة الخرسانة. ويعتبر نقص الممتدولية أحد المشاكل التي تواجه الخرسانة فائقة المقاومة، حيث تزيد قصافتها مما يجعل الانهيار أقرب للانهيار المفاجيء. و يتضح منه أيضاً أن للخرسانة عالية المقاومة تكون العلاقة بين الإجهاد والانفعال في بداية المنحنى أقرب ما تكون للخط المستقيم. وباستخدام قانون هوك يمكن حساب معايير المرونة.

$$\text{معايير المرونة} = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الانفعال}}$$

نظراً لأن الخرسانة ليست مادة مرنة ولأن العلاقة بين الإجهاد والانفعال ليست خطية، فإنه يمكن حساب معايير المرونة الاستاتيكية للخرسانة في الضغط باستخدام إحدى الطرق التالية، انظر شكل (2-9).

- معايير التماس الأولى E_i Initial tangent modulus
- معايير التماس E_t Tangent modulus
- معايير القاطع E_s Secant modulus

الباب التاسع تشكل الخرسانة (Deformations of Concrete)

1-9 مقدمة:

يتناول هذا الباب التشكلات التي تحدث بالخرسانة أثناء خدمتها في عمرها. ويمكن للخبر هذه التشكلات فيما يلي:

1. التشكلات الناتجة من إجهادات التشغيل.
 2. التشكلات الناتجة من حركة المياه إلى داخل الخرسانة أو خارجة من الخرسانة.
 3. الزحف الذي يعتمد على الزمن لعنصر مجهود.
- وعموماً فحتى يأخذ المهندس تأثير هذه الانفعالات أو بعض منها على المنشآت، فعليه التعرف على معايير مرونة الخرسانة.

2-9 معايير مرونة الخرسانة الاستاتيكية Static Modulus Of Elasticity :

1-2-9 عام

من المعلوم أن المهندس عند التصميم يحتاج لحساب تشكلات العنصر الخرساني، و يمكن إجمال حساب التشكلات كما يلي:

- تشكل عضو محوري، و يحسب من المعادلة: $\Delta L = \frac{C \cdot L}{A \cdot E}$

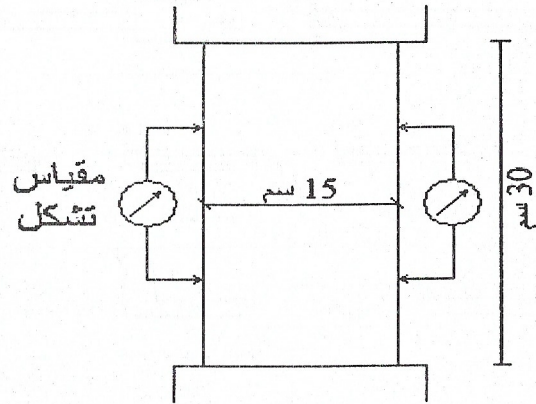
حيث C القوة المحورية و L طول العنصر و A مساحة المقطع و E معايير المرونة

- تشكل عضو معرض لعزم انحناء، و يحسب من العلاقة: $\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M_x}{E \cdot I}$

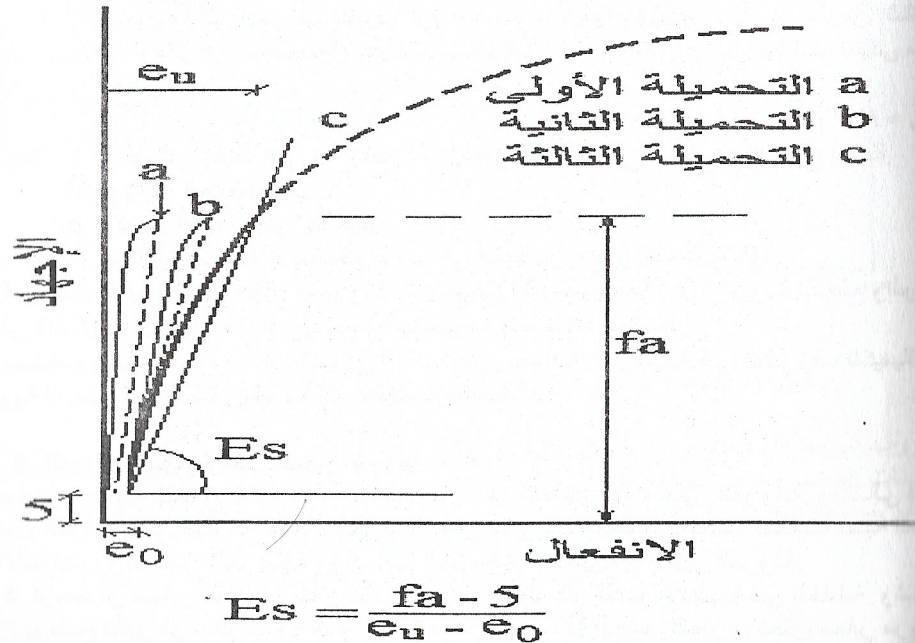
حيث y هو تشكل الكمرة المعرضة لعزم انحناء M_x وهو العزم الحادث عند قطاع بعيد x من نقطة الأصل.

و عموماً عند دراسة العلاقة بين إجهاد الضغط والانفعال لعينات من خرسانات مختلفة المقاومة. وجد أن العلاقة تكون كما هو مبين بشكل (1-9).

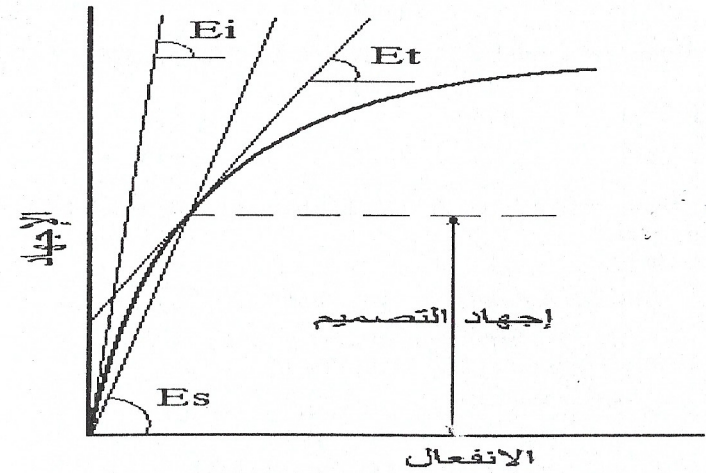
حيث e_u الإنفعال المناظر لإجهاد f_a و e_0 الإنفعال المناظر لإجهاد 5 كجم/سم²
 • وفي بعض المشاريع يمكن تحديد معايير المرونة من نتائج اختبار الانحناء الكمرى
 يرسم العلاقة بين حمل الانحناء والترخيم المناظر ويحسب معايير المرونة بالتعويض في
 صيغة سهم الانحناء المذكور في كتب نظريات المرونة بدلالة حمل الانحناء وسهم
 الانحناء المناظر لنقطة تقع على الخط المستقيم.



شكل (3-9-أ) رسم تخطيطي لجهاز قياس معايير المرونة الاستاتيكي



شكل (3-9-ب) طريقة تعيين معايير مرونة القاطع



شكل (2-9) طرق تحديد معايير المرونة في الضغط

ويحدد الكود الوطني للخرسانة المسلحة أو المواصفات القياسية الطريقة التي تتبعها كل دولة
 في تحديد معايير المرونة.

2-2-9 اختبار معايير المرونة الاستاتيكي في الضغط:

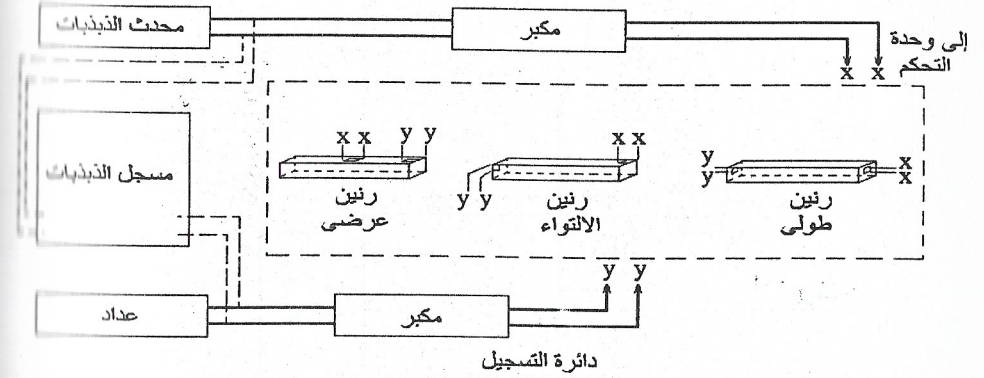
- يتم صب عدد معين من اسطوانات الخرسانة (30×15 سم) ومعالجتها طبقاً لاشتراطات المواصفات القياسية.
- عند عمر الاختبار (غالباً ما يكون 28 يوم)، يتم تحديد مقاومة ضغط الخرسانة (f_{cu}) عن طريق اختبار مجموعة من الاسطوانات في الضغط حتى الانهيار.

$$f_a = \frac{F_{cu}}{3}$$

- يتم تثبيت مقياسين أو أكثر على جوانب الاسطوانة بطول قياسي 15 سم لتحديد تشقق الخرسانة (شكل 3-9-أ) (يوجد جهاز خاص لمعايير المرونة الاستاتيكي بالسوق المعايير).
- تحمل العينة لأول دورة بالتدرج بمعدل 140 كجم/سم² دقيقة، حتى يصل لحمل يولد إجهاد قدرة (f_a) كجم/سم²، ونقرأ مقياس التشقق، ثم نرفع الحمل بالتدرج إلى أن يصل إلى الحمل الأدنى (C_{min}) الذي يحقق إجهاد قدره 5 كجم/سم²، ثم نحدد القراءات.
- تحمل العينة للدورة الثانية بحمل أقصى (C_{max}). بالتدرج ليولد إجهاد قدره (f_a) كجم/سم²، ثم يرفع الحمل للوصول إلى الحمل الأدنى المذكور بالمرحلة الأولى، ويتم قراءة المقياس في التحميل والإزالة.
- تحمل العينة للدورة الثالثة على عشرة تحميلات متساوية للوصول للحمل الأقصى المذكور في المرحلة الثانية، وفي كل تحميلية نسجل قراءات التشقق.
- نتائج مرحلة التحميل الثالثة تستخدم لحساب الإجهاد والانفعال، وترسم العلاقة كما بشكل (3-9-ب) لتحديد معايير مرونة الخرسانة القاطع E_s كما هو مبين بالشكل.

$$E_s = \frac{f_a - 5}{e_u - e_0}$$

3-2-9 معايير المرونة الديناميكية (Dynamic Modulus Of Elasticity (Ed): أثبت الباحثون أنه يمكن تحديد معايير المرونة بطريقة غير متلفة، بتعريض عينة خرسانية على هيئة أسطوانة أو منشور إلى الاهتزاز ترددياً عن طريق محدث ذبذبات، انظر شكل (4-9).



شكل (4-9) جهاز قياس معايير المرونة الديناميكية

ولتعيين معايير المرونة الديناميكية يتم تعريض العينة للاهتزاز بترددات مختلفة. وتردد الاهتزاز الذي تحدث أكثر انحراف بالعينة الرئيسية يتم تسجيلها، ويظهر ذلك عن طريق شاشة بالجهاز. وتردد الاهتزاز المحصول عليها تستخدم في حساب معايير المرونة الديناميكية من العلاقة:

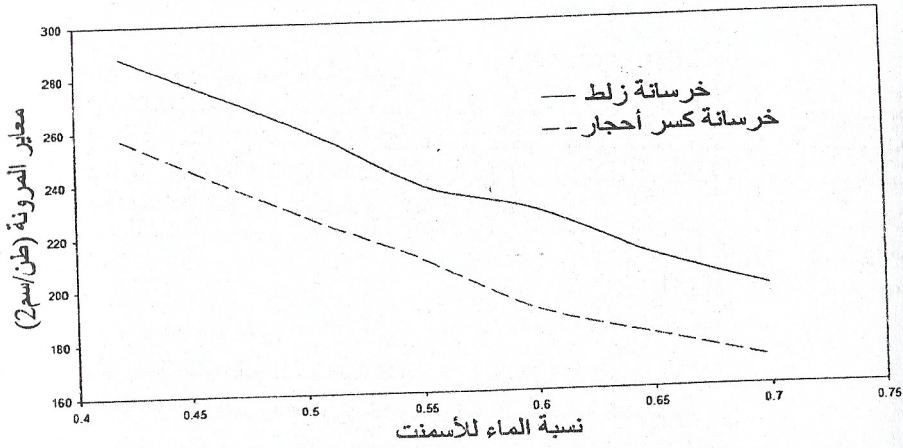
$$E_d = K.W.m^2 \text{ MPa}$$

حيث K = ثابت يتوقف على نوع الذبذبة هل هي عرضية أم طولية وكذلك نوع العينة.
 W = وزن العينة بالجم.
 m = تردد العينة بالدورة/ثانية.

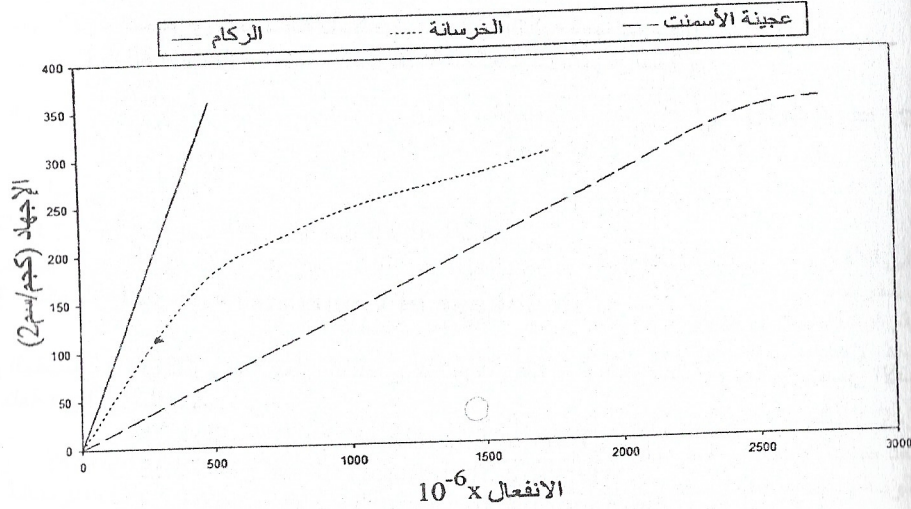
ويلاحظ أن معايير المرونة الديناميكية قريب في قيمته من معايير التماس الأولى. وقد أثبتت الأبحاث أن معايير المرونة الديناميكية أكبر من معايير المرونة القاطع والوتر بحوالي 20-30%. ويقل هذا الفرق مع زيادة مقاومة الخرسانة للضغط. ويستخدم معايير المرونة الديناميكية للحكم على تحميلية الخرسانة في الظروف الكيميائية والجوية السيئة. كما يفيد في الحسابات الديناميكية للمنشآت.

4-2-9 العوامل المؤثرة على معايير المرونة:

عموماً وجد أنه كلما زادت مقاومة ضغط الخرسانة تحسنت قيم معايير المرونة. وبالتالي فإن العوامل المؤثرة على مقاومة ضغط الخرسانة تؤثر على ذلك المعيار. فكلما نقصت نسبة الماء إلى الأسمنت وزاد عمر الخرسانة وزاد غنى الخرسانة، تحسنت قيم معايير المرونة. وقد لوحظ أن معايير المرونة يتأثر تأثيراً كبيراً بنوع الركام الكبير ونسبته في الخلطة. وشكل (5-9) يوضح تأثير نوع الركام. والذي يتضح منه أن خرسانة الحجر الجيري تحقق معايير مرونة أقل من خرسانة الزلط. وأثبتت الأبحاث أنه بزيادة نسبة ركام الخرسانة الكبير يتحسن معيار مرونة الخرسانة، وذلك نظراً لقلّة معايير مرونة الخرسانة لعجينة الأسمنت بالنسبة للركام. شكل (6-9).



شكل (5-9) تأثير نوع الركام ونسبة الماء إلى الأسمنت على معايير المرونة



شكل (6-9) العلاقة بين الإجهاد والانفعال للركام والخرسانة وعجينة الأسمنت

وقد لوحظ أن معايير مرونة العينات المختبرة وهي رطبة تحقق معايير مرونة أعلى من العينات المختبرة وهي جافة. وقد تبين أن معايير مرونة الخرسانة الخفيفة حوالي 40-80% من معايير مرونة الخرسانة عادية الوزن.

5-2-9 حساب قيم معايير المرونة نظرياً :

أثبتت الأبحاث أنه يمكن التعبير عن معايير مرونة الخرسانة كدالة من مقاومة ضغط الخرسانة. ويمكن استخدام المعادلات الآتية التي ينص عليها الكود الأمريكي (ACI) لحساب معايير المرونة في الضغط بالجيجا باسكال (يساوى 0.1 طن/سم²) كدالة من مقاومة الاسطوانة (F_{cy}). بالميجا باسكال لخرسانة وحدة وزنها 2.45 طن/م³.

$$E_c = 4.73 (F_{cy})^{0.5} \quad (1-9) \dots\dots\dots$$

وأوصى كذلك باستخدام المعادلة التالية كدالة من وحدة وزن الخرسانة γ طن/م³.
علماً بأن وحدات معايير المرونة طن/سم² ومقاومة الاسطوانة كجم/سم².

$$E_c = 4.3 \gamma^{1.5} (F_{cy})^{0.5} \quad (2-9) \dots\dots\dots$$

ويوصى الكود المصرى للخرسانة باستخدام المعادلة التالية لحساب معايير المرونة بال (نيوتن/مم²) كدالة من مقاومة ضغط الخرسانة للمكعب بال (نيوتن/مم²).

$$E_c = 4400 \sqrt{F_{cu}} \quad (3-9) \dots\dots\dots$$

نسبة بواسون:

تتراوح نسبة بواسون للخرسانة بين 0.15 ، 0.20.

3-9 انكماش الخرسانة (Shrinkage of Concrete):

والمقصود بالانكماش هو انفعال التقلص الناتج من فقد ماء الخرسانة. ويمكن حصر الأنواع المختلفة في الانكماش كما يلي:

1. الانكماش اللدن (Plastic Shrinkage).
2. انكماش الجفاف (Drying Shrinkage).
3. الانكماش الذاتى (Autogenous Shrinkage).
4. انكماش الكربنة (Carbonation Shrinkage).

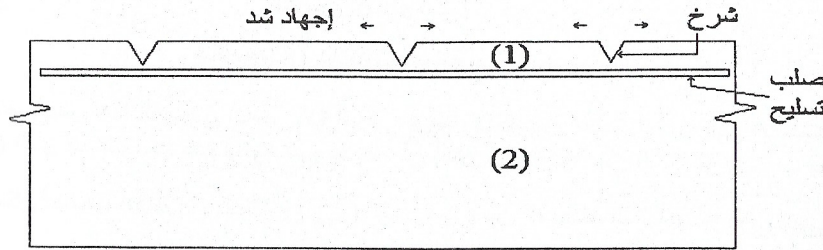
ويعرف الانكماش اللدن بأنه هو الانكماش الذى يحدث فى المراحل الأولى بعد صب الخرسانة مباشرة وينتج من فقد الماء من الطبقات العلوية التى تتعرض للحرارة والرطوبة والرياح. و الانكماش الذاتى هو الانكماش الذى يحدث فى الخرسانة رغم منع ماء الخلط من الخروج من الخرسانة ويحدث نتيجة فقد ماء الخلط نظراً لحدوث إماهة للأسمنت ويظهر تأثيره أكثر فى الخرسانة ذات نسبة الماء للأسمنت القليلة (نظرياً أقل من 0.42) وتأثير هذا الانفعال محدود إلا فى الخرسانة الكثلية. ويحدث انكماش الكربنة من اتحاد ثنائى أكسيد الكربون مع هيدروكسيد الكالسيوم والذى يؤدي إلى خروج الماء إلى خارج الخرسانة وقد سبق دراسة خاصية الكربنة فى باب التحميل. وانكماش الجفاف يحدث فى الخرسانة المتصلدة. ويمثل أول نوعان أهمية خاصة للمنشآت ولذلك سيتم دراستهما بالتفصيل.

1-3-9 الانكماش اللدن (Plastic Shrinkage):

ويحدث الانكماش اللدن فى الخرسانة قبل تصلبها. والسبب الرئيسى هو تعرض الخرسانة لعوامل الجو من حرارة مرتفعة ورطوبة منخفضة ورياح سريعة. مما يعرض سطح الخرسانة الخارجى لفقد سريع فى ماء الخلط، وهذا يعرض سطح الخرسانة لانكماش سريع والخرسانة فى مراحل شكها الأولى، مما قد يولد بها شروخ سطحية كما هو مبين بشكل (7-9). ناتجه من تقييد الطبقة السفلية، التي لا تتعرض للانكماش ، وكذلك التقييد الناتج من صلب التسليح لانكماش الطبقة العلوية

وعموماً فإنه يمكن للمهندس تقليل آثار الانكماش عن طريق:

1. المحافظة على عدم فقد ماء الخلط مبكراً وذلك عن طريق المعالجة المبكرة .



(1) طبقة سطحية
(2) طبقة داخلية لا يحدث بها انكماش

شكل (7-9) الشروخ الناتجة من الانكماش اللدن

2 - فى الأجواء الحاره يتم إضافة ألياف بوليبيروبيلين بنسبة تتراوح بين 0.20 الى 0.30% فى المانة من حجم الخرسانة .

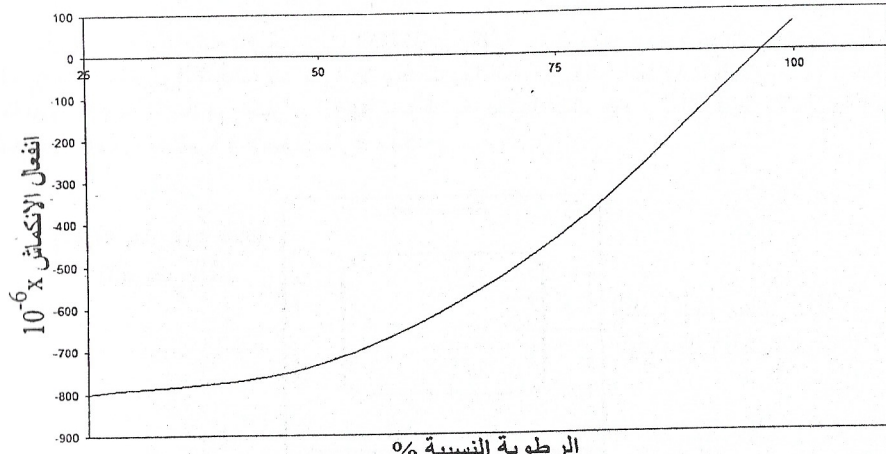
3 - يتم فرد أغشيه من النايلون على سطح الخرسانة بمجرد صبها .

4 - أخذ الإحتياطات المذكوره فى الصب فى الأجواء الحاره المذكوره بباب صناعة الخرسانه

2-3-9 انكماش الجفاف (Drying Shrinkage):

بعد صب الأعضاء الخرسانية تتصلب الخرسانة وتبدأ فى التعرض للعوامل الجوية من حرارة ورطوبة ورياح، فيبدأ ماء الخلط الداخلى فى الخروج مع مرور الزمن، وتبدأ الخرسانة فى الانكماش. وبدراسة الانكماش على منشور بأبعاد 10×10×40سم ، وتستخدم ACI 490 منشور بأبعاد مناسبة بحيث يكون طول القياس 250 مم و باستخدام جهاز الانكماش المزود بجهاز لقياس الانضغاط دفته 0.002 مم ، حيث يتم تحديد طول المنشور على فترات متعددة وحساب انفعال الانكماش عند أزمنة متعددة، ثم ترسم العلاقة بين الزمن وانفعال الانكماش، نحصل على منحنى مثل شكل (8-9).

للرطوبة النسبية تأثير مهم، فكلما كان الجو جافاً يزيد الانكماش. ويتضح ذلك من شكل (10-9).

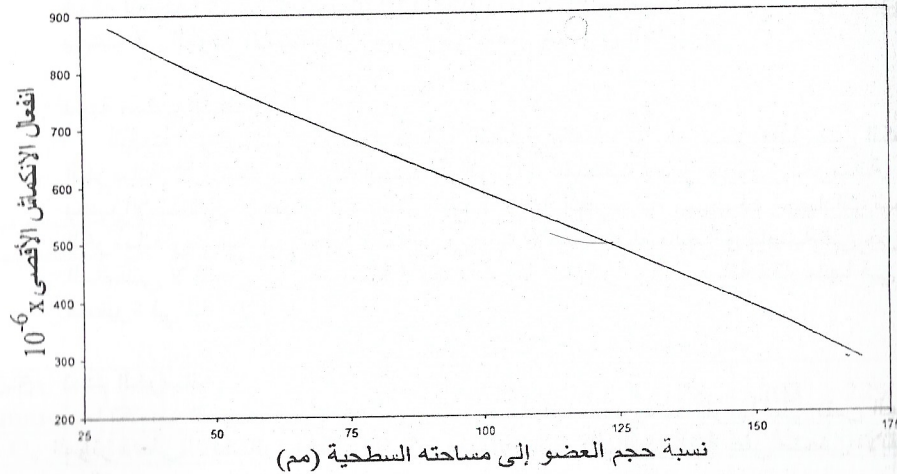


شكل (10-9) علاقة لتأثير R.H على الانكماش

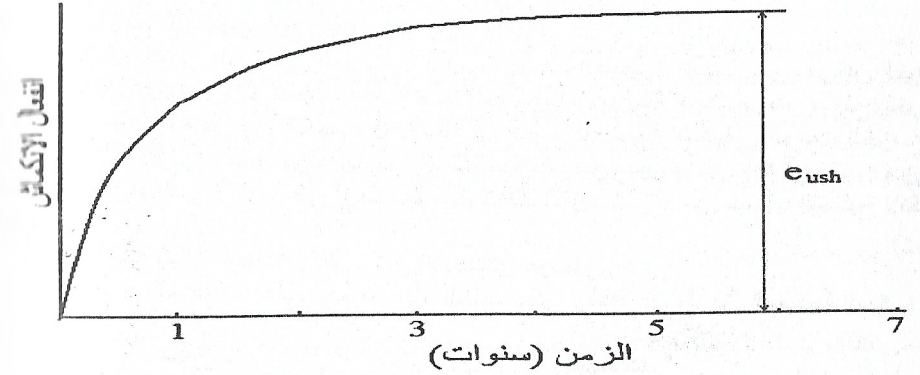
وكما كانت درجة الحرارة مرتفعة والرطوبة النسبية منخفضة، يزداد الانكماش كثيراً.

3. شكل العضو الخرساني:

أثبتت الأبحاث أنه كلما كان العضو الخرساني ذو مساحة سطحية كبيرة وسمك الخرسانة قليل، زاد الانكماش، وذلك لسهولة انتقال الماء بداخل العضو الخرساني إلى الجو. وأمكن التعبير عن ذلك بالنسبة بين حجم العضو الخرساني إلى مساحته السطحية. وشكل (11-9) يوضح تأثير هذا العامل، والذي يتضح منه أنه كلما زادت هذه النسبة يقل انكماش الخرسانة. ومن المهم لفت النظر إلى أن انكماش قطاع مستطيل أقل من انكماش قطاع على هيئة حرف T أو حرف I له نفس حجم القطاع المستطيل، ويعود ذلك إلى نقص مسار خروج الماء الداخلي.



شكل (11-9) تأثير نسبة حجم العضو إلى مساحته السطحية على الانكماش



شكل (8-9) علاقة تخطيطية بين الانكماش والزمن

ويتضح من هذا المنحنى أنه بزيادة الزمن يزيد الانكماش، حتى نصل إلى الانكماش الحرج (e_{ush}) الذي يحدث بعد عدة سنوات. ويلاحظ أن أكثر من 50% من الانكماش يحدث بعد سنة.

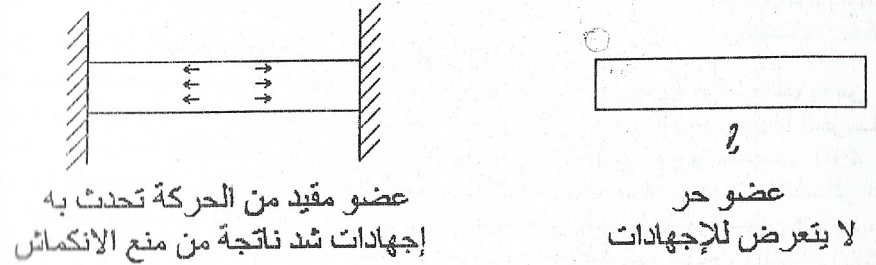
ويمكن حساب انفعال الانكماش (e_{ush}) عند زمن t من المعادلة التالية بمعرفة e_{ush} :

$$e_{ush} = e_{ush} (0.15 \sqrt{t} - 0.112)$$

حيث t = الزمن بالأيام .

3-3-9 تأثير الانكماش :

إذا كان العضو الخرساني حرّاً، فإنه لن تتولد فيه أية إجهادات شكل (9-9). ولكن أغلب الأجزاء الخرسانية تكون مقيدة. وعلى ذلك عند تعرض العضو المقيد للانكماش تتولد إجهادات شد قد تحدث شروخاً في الأجزاء الخرسانية إذا أهملنا معالجة الخرسانة أو إذا لم تنفذ أواسل تمديد للمنشآت.



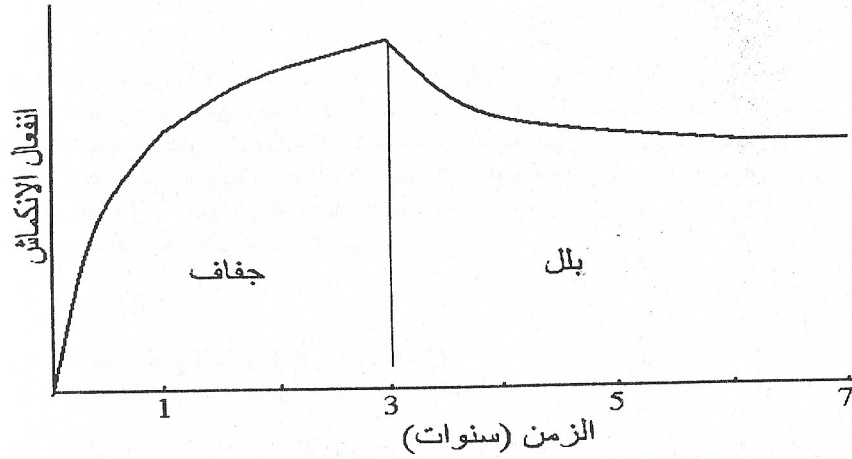
شكل (9-9) تأثير تقييد انفعال الانكماش

4-3-9 العوامل المؤثرة على انكماش الجفاف:

1. محتوى ماء الخلط:

أثبتت الأبحاث أنه كلما زاد محتوى الماء بالخلطة يزيد الانكماش، وسوف يتم إعطاء معادلة لحساب الانكماش الأقصى للخرسانة (الحرج) كدالة من محتوى الماء.

2. الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة :



شكل (13-9) تأثير البلل على منحنى الانكماش للخرسانة

6-3-9 طرق حساب الانكماش :

الطريقة الأولى (طريقة جيمس لبيي):

ويمكن حساب انفعال الانكماش الحرج من المعادلة الآتية التي وضعت لعضو خرساني موضوع في درجة رطوبة نسبية $(R.H) = 50\%$ ، والنسبة بين حجم العضو الخرساني (V) إلى مساحة مقطعة (A) $= 38$ مم.

$$(4-9) \dots\dots\dots$$

$$e_{ush} = 200 + 4.8(1.7W - 220) \times 10^{-6}$$

حيث محتوى الماء بالكجم/م³ خرسانة W.

وهذه المعادلة موضوعة لرطوبة نسبية قدرها 50%. ويمكن استخدام معامل تصحيح للرطوبة يضرب في المعادلة رقم (9 - 4) في معامل (Ch) لتأخذ تأثير درجات الرطوبة المختلفة، هذه القيمة تؤخذ من جدول رقم (9 - 1).

جدول (1-9) معامل الرطوبة (Ch)

الرطوبة النسبية	20	40	50	60	80
Ch	1.6	1.2	1.0	0.8	0.4

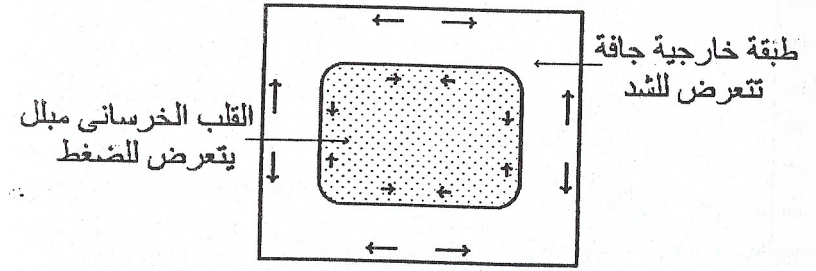
ويجب تصحيح المعادلة السابقة لتناسب نسبة الحجم إلى المساحة السطحية بالضرب في المعامل Cs، جدول رقم (9-2)، حيث أن المعادلة موضوعة لنسبة حجم على مساحة تساوي 38 مم.

جدول (2-9) معامل تصحيح الحجم إلى المساحة السطحية (Cs)

V/A mm	13	25	38	51	100	152	178	203	229
Cs	1.130	1.100	1.000	0.920	0.780	0.710	0.580	0.535	0.50

$$e_{inh} \times C_h \times C_s = \text{وبذلك يكون الانكماش}$$

وشكل (12-9) يوضح الإجهادات الناشئة في كتلة خرسانية كبيرة حيث تتعرض الطبقات السطحية للانكماش والطبقات الداخلية لا يحدث بها انكماش (قيد للطبقات الخارجية) وهذا يؤدي إلى ظهور إجهادات شد في خارج الكتلة مما قد يعرضها للتشريح، ولذلك يجب معالجة المنشآت الكتلية بعد الصب مباشرة ولأطول فترة ممكنة.



شكل (12-9) يوضح الإجهادات الناشئة في كتلة من الخرسانة تتعرض للانكماش

4. الأسمنت:

كلما زاد محتوى الأسمنت يزيد الانكماش. لذلك يحدد الكود المصري للخرسانة المسلحة حد أقصى لاستخدام الأسمنت. وأثبتت الأبحاث أن الأسمنت سريع التصلب والأسمنت فائق النعومة يحقق انكماش أعلى من خرسانة الأسمنت البورتلاندي العادي.

5. الركام:

أثبتت الأبحاث أن الركام الصلب قليل الفراغات والامتصاص للماء يحقق انكماش أقل. وقد لوحظ أن غياب الركام يجعل الانكماش عالي للمونة الأسمنتية. كمثال، استخدام ركام بنسبة 44% من وزن الخرسانة يقلل الانكماش إلى 25% من قيمته للمونة الأسمنتية، حيث أن الركام يساعد على تقييد الانكماش الذي يمكن أن يحدث في المونة الأسمنتية بالإضافة إلى نقص محتوى الماء.

6. نسبة صلب التسليح:

أثبتت الدراسات أن وجود صلب التسليح بالقطاع الخرساني يقلل من انكماش الخرسانة، لأن معايير مرونة الحديد حوالي 10 أضعاف معايير مرونة الخرسانة. ولكن يجب الأخذ في الاعتبار أنه يمثل تقييد لحركة الخرسانة مما يولد إجهادات شد في الخرسانة وضغط في حديد التسليح. ويجب الاهتمام بالمعالجة وخاصة في خزانات الماء حتى لا تتعرض الخرسانة لإجهادات الشد مبكراً والخرسانة مقاومتها في الشد صغيرة في تلك الأعمار.

5-3-9 تمدد الخرسانة:

عندما تكتسب الخرسانة ماء خارجي، فإنه يحدث لها تمدد يعتمد تقريباً على نفس العوامل المؤثرة على الانكماش. وشكل (13-9) يوضح تأثير بلل الخرسانة على منحنى الانفعال مع الزمن.

$$\begin{aligned} \text{المحيط} &= 100 \times 19.2 = 1920 \text{ مم} \\ \text{المساحة السطحية} &= 80000 \times \text{المحيط} \\ 140 &= 310 \times 19.2 / 610 \times 2.7 = \frac{V}{A} \end{aligned}$$

من جدول (9-1) ، يكون $Ch = 0.80$ ، $Cs = 0.72$

$$e_{ush} = 611 \times 0.8 \times 0.72 = 352 \times 10^{-6}$$

طريقة الكود .

$$B = \frac{2 \times 2.7 \times 10^{-6}}{19.2 \times 100} = 281 \text{ mm}$$

$$e_{ush} = 380 \times 10^{-6} \text{ } 55\% \text{ لرطوبة}$$

$$e_{ush} = 230 \times 10^{-6} \text{ } 75\% \text{ لرطوبة}$$

$$e_{ush} = 340 \times 10^{-6} \text{ } 60\% \text{ لرطوبة}$$

ويلاحظ أن طريقة الكود أعطت نتيجة قريبة من الطريقه الدقيقه .

$$e_{ush} \text{ 1 year} / e_{ush} = 0.157(\ln 365 - 0.1151) = 0.9 e_{ush}$$

$$e_{ush} \text{ 1 year} = 209 \times 10^{-6}$$

مثال (2):

لنفس المسألة السابقة إفتراض أن مقاومة الضغط 200 كجم/سم² وأن محتوى الماء 220 كجم/م³.

(الطريقة الاولى)

$$e_{ush} = 936 \times 10^{-6}$$

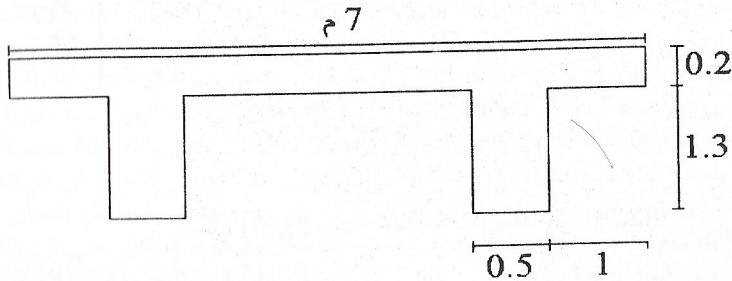
$$e_{ush} = 936 \times 0.8 \times 0.72 = 539.14 \times 10^{-6}$$

(طريقه الكود)

بالنسبة للكود هذه خرسانه مقاومتها منخفضه .

$$e_{ush} = 340 \times 1.3 = 442 \times 10^{-6}$$

وهذا يوضح أن طريقة الكود تقريبيه فى حالة الخرسانه منخفضة المقاومة



شكل (14-9) قطاع فى الكوبرى الخرسانى

الطريقة الثانية (طريقة كود الخرسانة المصري رقم 203 لعام 2007):
استخدم الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية طريقة مبسطة لحساب الإنكماش وكان لمؤلف هذا الكتاب دور كبير فى هذا وكذلك لحساب الزحف الذى سيتم ذكره لاحقاً .
قام الكود بوضع قيم تقريبيه لإنفعال الإنكماش الحرج كدالة من البعد الإعتبارى للقطاع (B بالمليمتر) ومن الرطوبة النسبيه ولقد أعطيت القيم كما هو موضح فى جدول رقم (9-3) ويقدر البعد الإعتبارى للقطاع B على النحو التالى :

$$B = \frac{2 A_c}{P_c} \text{ mm}$$

حيث A_c = مساحة مقطع العضو الخرسانى (مم²) .
و P_c = محيط المقطع الخرسانى بالمم .

وتؤخذ القيم من جدول رقم (9-3) وتقسم على 1000 ومما هو جدير بالذكر أن تلك القيم وضعت لخرسانة منشآت سابقة الإجهاد أى ذات مقاومة عاليه (أكبر من أو يساوى 400 كجم/سم²) ولذلك عند استخدامه لخرسانة متوسطه أو ضعيفة المقاومة تضرب القيم المعطاة من الجدول فى 1.30 .

جدول (9-3) قيم استرشادية لانفعال انكماش الجفاف النهائى (10^{-3})

حالة الجو	جو جاف * (رطوبة نسبية حوالى 55 %) البعد الإعتبارى للقطاع B مم			جو رطب * (رطوبة نسبية حوالى 75 %) البعد الإعتبارى للقطاع B مم		
	B أكبر من أو تساوى 600	B أقل من 600 وأكبر من 200	B أقل من 200	B أكبر من أو تساوى 600	B أقل من 600 وأكبر من 200	B أقل من 200
العمر الذى بدأ بعده الإنكماش						
7-3 أيام	0.31	0.38	0.43	0.21	0.23	0.26
60-7 يوم	0.30	0.31	0.32	0.21	0.22	0.23
أكثر من 60 يوم	0.28	0.25	0.19	0.20	0.19	0.16

* فى حالة اختلاف الرطوبة النسبيه عن القيم المعطاه يمكن استنتاج قيم انفعال الإنكماش بالنسبة والتناسب ولايفضل استخدام هذا الجدول الا فى حدود رطوبه نسبية بين 40 ، 85 %

مثال (1):

كوبرى بحره 80 متر ومقطعه كما فى شكل(9-14) انشا فى منطقة رطوبتها النسبية 60 % ومقاومة الضغط للمكعب = 400 كجم /سم² ومحتوى الماء للخلطة = 170 كجم/م³ المطلوب حساب انفعال الانكماش بعد سنة اذا علم ان مدة المعالجة 7 ايام 0 استخدم الطريقتين السابقتين الحل:

طريقة جيمس لىبى .

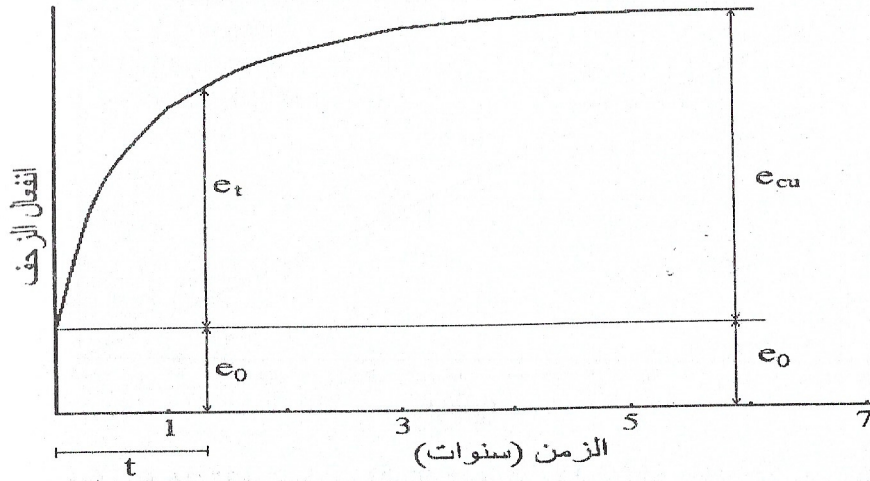
بال تطبيق فى المعادلة رقم (9-2) يتضح ان

$$e_{ush} = 200 + 4.8(1.7 \times 170 - 220) \times 10^{-6}$$

$$611 \times 10^{-6}$$

$$\begin{aligned} \text{مساحة المقطع} &= 2.70 \times 10^6 \text{ مم}^2 \\ \text{الحجم} &= \text{مساحة المقطع} \times 80000 \end{aligned}$$

4-9 زحف الخرسانة (Creep of Concrete):



شكل (15-9-ج) العلاقة بين الإنفعال والزمن في الزحف

شكل (15-9) ميكانيكا الزحف

2-4-9 أهمية دراسة الزحف:

إن تحديد الزحف يساعد المهندس عند اعتباره على أن يحصل على أعضاء ذات تشكّل على المدى البعيد مسموح به. وذلك بحساب القطاع الذي يحقق ذلك. ويستفيد المهندس من حسابات الزحف في تصميم الخرسانة سابقة الإجهاد التي تفقد جزء من إجهاد الضغط المخزن بها نتيجة زحف الخرسانة.

3-4-9 العوامل المؤثرة على الزحف:

إجمالاً يمكن القول أن العوامل المؤثرة على الإنكماش تؤثر بطريقة ما على الزحف وسنستعرض في مايلي أهم هذه العوامل.

1 - محتوى الركام:

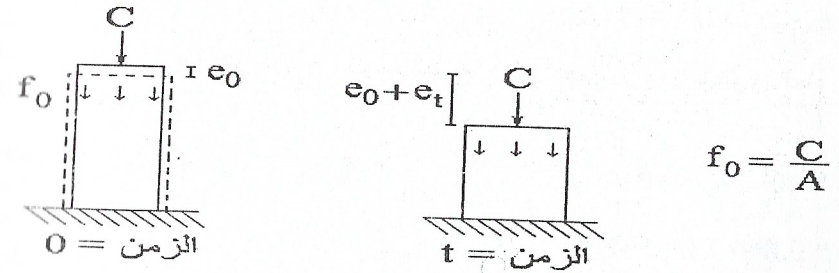
أثبتت الدراسات التي قام بها آدم نيفل أن عجينة الأسمنت تتعرض نتيجة الإجهاد الثابت مع الزمن لقدر من الزحف وكلما زاد محتوى الركام في الخرسانة يقل الزحف ولكن هذا النقص ليس خطياً ولم يفسر نيفل تلك الظاهرة ويرى الكاتب أن العجينة بها نسبة عالية من C-S-H وهذه المادة بها ماء داخلي بالإضافة للماء الموجود في الفراغات وكلما كانت الخرسانة غنية (زيادة محتوى الأسمنت) تزيد تركيز C-S-H ويقل معدل الزحف ولذلك لا تكون العلاقة خطية وكذلك فإن وجود الركام يسمح بتجميع الماء حوله مما يساعد على خروجه ويلاحظ أن الركام نفسه يحدث به زحف قليل جداً وشكل رقم (9 - 16) يوضح أنه بزيادة حجم الركام يقل إنفعال الزحف ويرى الكاتب أن تأثير الركام وغنى الخلطة الخرسانية يتداخلان فيجب التأكيد على أن الخرسانة الغنية زحفها أقل من الخرسانة الفقيرة رغم أن محتوى الركام في الخرسانة الغنية أقل من الخرسانة الفقيرة وهذا يعود لزيادة محتوى الجل وقلة النسبة المئوية للفراغات التي لها فعل مؤثر في زحف الخرسانة.

1-4-9 عام
عند دراسة كمر خرسانية معرضة لحمل مركز، كما في شكل (15-9-ب)، سنجد أنه بمجرد وضع الحمل يحدث ترخيم. وبمرور الزمن t ، نجد أن الترخيم زاد. وبدراسة عضو معرض لحمل ضغط C يولد إجهاد أولى F_0 ، فإنه يحدث انفعال لحظي e_0 ، شكل (15-9-أ). ويتسجل الانفعال خلال أزمنة لاحقة مع ثبات الحمل، نجد أن الانفعال يزيد مع الزمن. ويرسم الانفعال المسجل مع الزمن، نحصل على علاقة شبيهة بالشكل (15-9-ج). ويلاحظ أنه بعد فترة قد تصل إلى 3 سنوات، نصل إلى قيمة حرجة للانفعال. ويلاحظ أن الانفعال المعتمد على الزمن يطلق عليه الزحف. ويمكن حساب انفعال الزحف الحرج (e_{cu}) من العلاقة التالية:

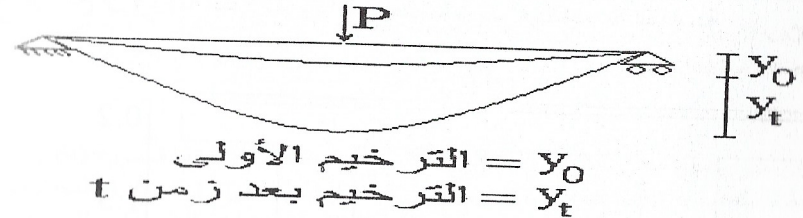
$$\frac{e_{cu}}{e_0} = \phi$$

حيث e_0 = الانفعال اللحظي

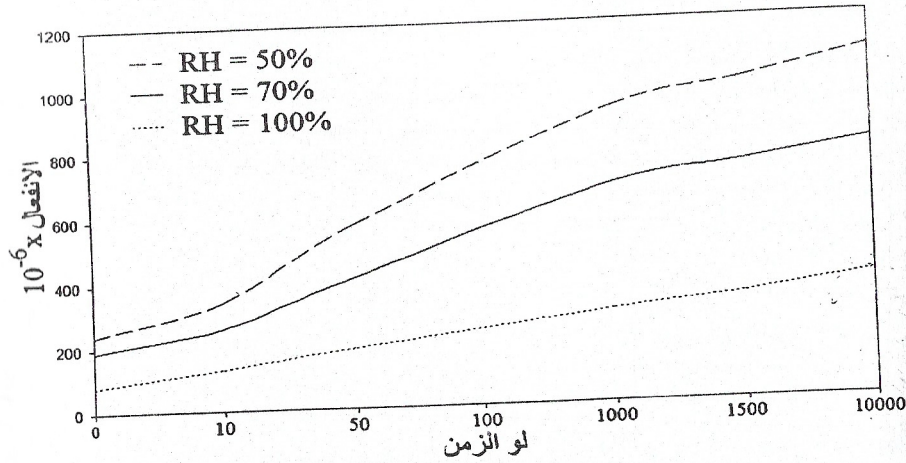
ϕ = نسبة الزحف (معامل الزحف)، وقد تصل هذه النسبة إلى 4.00، وهذه النسبة تحدد طبقاً لظروف التحميل الأولية والظروف الجوية المحيطة وخواص الخرسانة.



شكل (15-9-أ) ميكانيكا الزحف في الضغط

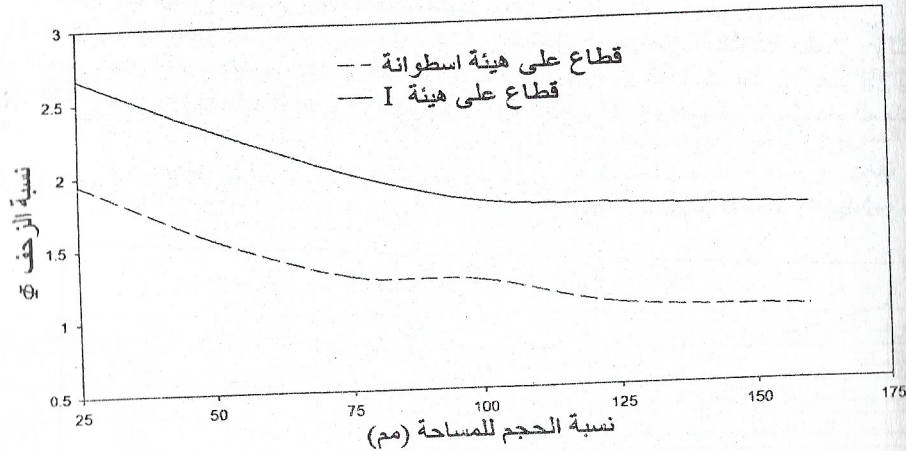


شكل (15-9-ب) ميكانيكا الزحف في الإنحناء



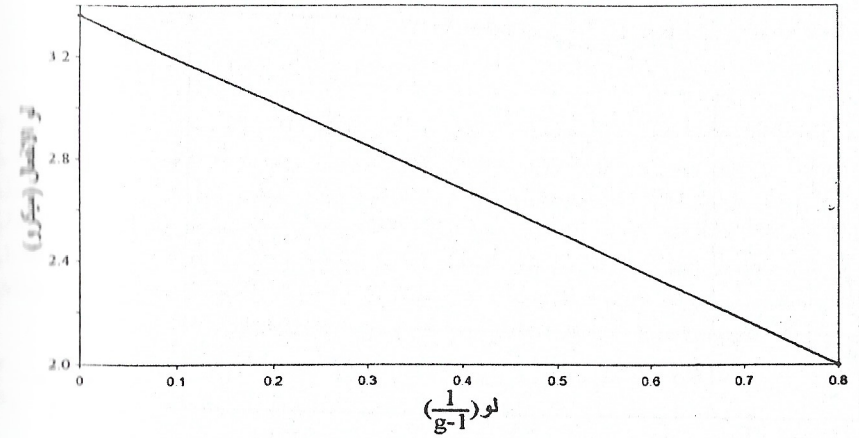
شكل (17-9) تأثير الرطوبة النسبية على الإنفعال الحرج للزحف

3 - شكل العضو (نسبة الحجم للمساحة السطحية V/A)
 شكل (18-9) يوضح أنه كلما زادت نسبة V/A يقل الزحف ويلاحظ أنه لنفس نسبة V/A فإن زحف العينات على هيئة حرف I أكبر من زحف العينات الأسطوانية.



شكل (18-9) تأثير نسبة الحجم للمساحة على نسبة الزحف على قطاعات بأشكال مختلفة

4 - اجهاد التحميل بالنسبة لمقاومة الضغط.
 أثبتت الدراسات أن هذا العامل مهم جداً وقد وجد أنه كلما زاد اجهاد التحميل الأولى بالنسبة للمقاومة يزيد الزحف كثيراً لأنه سوف يزيد الإنفعال الابتدائي وشكل (19-9) يوضح أن هناك تناسب بين نسبة الإجهاد الى المقاومة والزحف ولذلك فإن الإنفعال الأولى معبر جيد عن هذه النسبة.



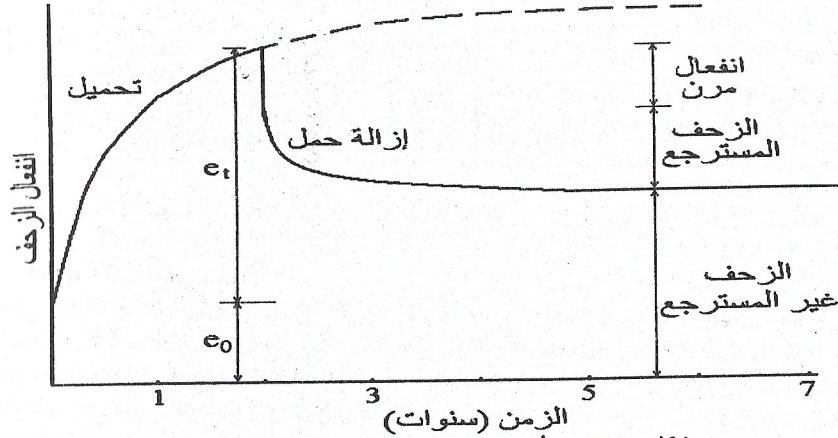
شكل (16-9) تأثير نسبة حجم الركام (g) بالنسبة لحجم الخرسانه (g) على انفعال الزحف الحرج

2 - نوع الركام :
 أثبتت الدراسات أن خرسانة كسر الأحجار الرملية أعطت أعلى قيم للزحف ولذلك لايفضل استخدامها في الخرسانة وقد أوضحت الدراسات أن زحف الأحجار الجيرية أقل من زحف خرسانة الزلط والبازلت.

3 - الرطوبة النسبية .
 كلما زادت الرطوبة النسبية يقل انفعال الزحف الحرج كما هو واضح من شكل رقم (17-9) ومن المهم ملاحظة أنه عند رطوبه نسبيه قدرها 100% فإن الزحف لاينعدم ولكن يكون بقيمة صغيره وهذا يؤكد أن الزحف ينتج من التضغوط الحادث بين وفي مكونات الخرسانه .

4-4-9 تأثير إزالة الحمل على الزحف:

لوحظ كما يشكّل (21-9) أنه عند إزالة الحمل، أن جزء من انفعال الزحف يتم استرجاعه، والآخر يظل غير مسترجع. ويتوقف ذلك على مستوى الإجهاد الواقع على العضو وهذه الظاهرة مفيدة جداً لأنه يمكن إزالة عدد من طوابق مبنى معرض للإنهيار فيتحسن سلوك المبنى وتقل انفعالاته ويتم ترميمه وتدعيمه.



شكل (21-9) تأثير إزالة الحمل على الزحف

5-4-9 طرق حساب الزحف.

سنستعرض هنا طريقتين الأولى من المراجع القديمة والثانية من كود الخرسانة المصري.

1 - الطريقة الأولى (جيمس ليبى)

تقاس الرطوبة النسبية للموقع أو تؤخذ من الأرصاد الجوية على مدار عدة سنوات وان لم تكن موجودة يستخدم جدول (4-9).

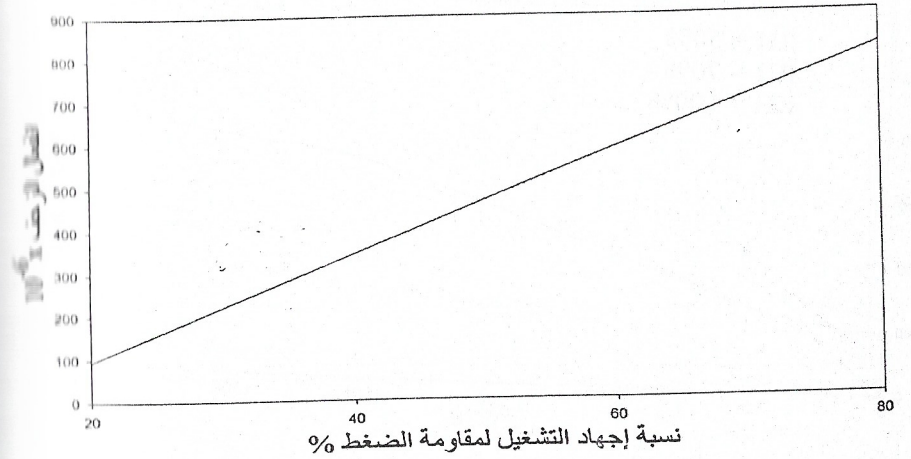
جدول رقم (4-9) قيم الرطوبة النسبية التقريبية.

نسبة الرطوبة النسبية التقديرية %	ظروف الموقع
100	فى الماء
90	قريب جداً من كميه كبيرة جداً من الماء
70	قريب من الماء مثل وديان الأنهار ومنطقة الدلتا
50	الجو القريب من الجفاف
35	الجو الحار والمباني المغلقة التى تسخن فى الشتاء

تحدد نسبة الزحف Φ من المعادلتين التاليتين للخرسانة عالية المقاومة:

$$\Phi = 1.25 + 2.75 ((100 - RH) / 65) \quad (6-9)$$

$$\Phi = 0.75 + 0.75 ((100 - RH) / 50) \quad (7-9)$$

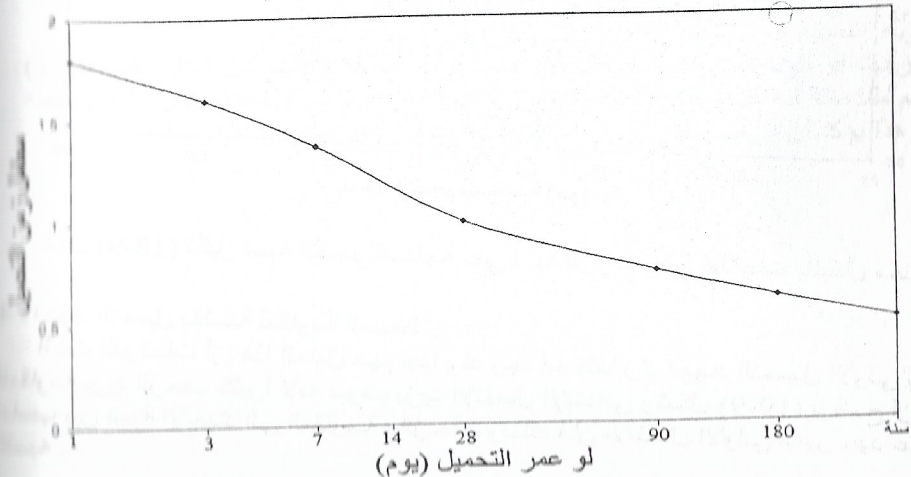


شكل (9-19) تأثير نسبة إجهاد التشغيل لمقاومة الضغط على انفعال الزحف الحرج

5- زمن تحميل المنشأ Creep maturity coefficient

أثبتت الدراسات والأبحاث أن تحميل الخرسانة فى عمر مبكر عن عمر 28 يوم يؤدي الى زيادة الزحف وشكل (20-9) يوضح تأثير زمن التحميل بالنسبة لعمر 28 يوم على زحف الخرسانة ومن هذا الشكل يتضح أن التحميل المتأخر يقلل الزحف لأنه يعطى فرصة لتكون C-S-H وحالياً أمكن استخدام أسمنتات ناعمة وإضافات تعجل من المقاومة المبكرة ولذلك يفضل التعبير عن تأثير المقاومة عند زمن التحميل (f_{cut}) ومقاومة الضغط f_{cu} عند 28 يوم بمعامل التحميل (M_{mt} Creep maturity coefficient) ويحسب باستخدام المعادلة التالية:

$$M_{mt} = 1.8 - 1.8(f_{cut} / f_{cu} 28 - 0.375) \quad (5-9)$$



شكل (20-9) العلاقة بين العمر الذى يبدأ عنده التحميل ومعامل زمن التحميل

وتستخدم المعادلتين التاليتين في الخرسانة عادية المقاومة :

$$\Phi = 2.00 + 2.00 ((100 - RH) / 50) \quad (8-9) \quad \text{.....} \quad \text{((القصوى))}$$

$$\Phi = 1.00 + ((100 - RH) / 50) \quad (9-9) \quad \text{.....} \quad \text{((الدنيا))}$$

تحدد معاملات تصحيح للمعادلات السابقة بحيث تناسب مقياس القطاع (C_s) كما هو مذكور بالجدول التالي (5-9) ومعامل تصحيح معامل التحميل (M_{mt} معادلة 5-9) .

جدول (5-9) معامل تصحيح مقياس القطاع لنسبة حجم الى مساحة سطحية مختلفه (C_s) .

V/Amm	25	51	76	102	127	152	178	203	229	250
C_s	1.7	1.44	1.3	1.2	1.14	1.1	1.06	1.03	1.01	1.00

تحتسب نسبة الزحف الحرجه Φ_u من المعادلة التالية .

$$\Phi_u = \Phi * C_s * M_{mt}$$

2 - طريقة كود الخرسانة

يعطي الكود قيم استرشادية لنسبة الزحف كدالة من الرطوبة النسبية ومقياس القطاع (البعد الإعتباري) كما هو مذكور في بند الإنكماش وكدالة كذلك من العمر الذي يبدأ بعده التحميل وتلك القيم موضحة في جدول رقم (6-9) . وهذه القيم هي لخرسانة عالية المقاومة وفي حالة خرسانة مقاومتها أقل يجب زيادة Φ بضرربها في معامل تكبير 1.3

في حالة الأعضاء التي تتعرض الى قوة ضغط محورية تؤدي الى اجهاد نسبته بالنسبة الى مقاومة الخرسانة تزيد عن 0.33 فإنه يجب زيادة الزحف بمعامل α معطى قيمة بجدول (7-9) بفرض وجود علاقة خطية بنسبة تحميل 0.33 و 0.50

جدول (6-9) قيم استرشادية لمعامل الزحف النهائي Φ

حالة الجو	جو جاف * (رطوبة نسبية حوالى 55 %)	جو رطب * (رطوبة نسبية حوالى 75 %)
العمر الذى بدأ بعده التحميل	البعد الإعتباري للقطاع B مم	البعد الإعتباري للقطاع B مم
7-3 أيام	B أكبر من 600 أو تساوى 600 من 200	B أكبر من 600 أو تساوى 600 من 200
60-7 يوم	B أكبر من 600 أو تساوى 600 من 200	B أكبر من 600 أو تساوى 600 من 200
أكثر من 60 يوم	B أكبر من 600 أو تساوى 600 من 200	B أكبر من 600 أو تساوى 600 من 200
	2.90	2.70
	2.50	2.20
	2.00	1.40

* في حالة اختلاف الرطوبة النسبيه عن القيم المعطاه يمكن استنتاج قيم معامل الزحف بالنسبة والتناسب ولايفضل استخدام هذا الجدول الا في حدود رطوبه نسبية بين 40 ، 85 %

جدول (7-9) قيمة معامل التصحيح بدلالة نسبة الإجهاد العمودى للمقاومة .

نسبة الإجهاد للمقاومة	0.33	0.4	0.5
α	1.00	1.1	1.25

9 - 4 - 6 الزحف لأعضاء الخرسانة المسلحة :

نظراً لأن صلب التسليح لا يزحف في درجات الحرارة العادية فإن زحف الخرسانة المسلحة e_{us} يقل عن زحف الخرسانة e_u بقيمه قدرها $(e_{us} - e_u)$ وينشأ عن هذا التقييد اجهاد ضغط في الصلب واجهاد شد في الخرسانه قيمته تتوقف على معايير مرونة للخرسانه والصلب .

4-9 - 7 أهمية حسابات الزحف :

يتم حساب الزحف ليؤخذ في الإعتبار في حساب سهم الإنحناء للأعضاء المعرضه للإنحناء كما يلى :

$$y = y_0(1 + \Phi)$$

حيث y_0 هو الترخيم اللحظى و y هو الترخيم النهائي بعد الزحف

بحسب انفعال الزحف في الأعضاء الخرسانية سابقة الإجهاد في منسوب صلب سبق الإجهاد نتيجة تعرضها لإجهاد قدره f_0 . ثم نحسب الفوائد في اجهاد صلب التسليح بضررب انفعال الزحف في معايير مرونة الصلب .

يساعد دراسة الزحف في توقع حدوث الإنهيار في الأعمده الخرسانية كما سيلي في الأمثلة التالية

أمثلة :

مثال (1):

كمره كابولية خرسانية بحرهما 3.00 متر مصنوعه من خرسانة مقاومتها في الضغط 400 كجم/سم² وقطاعها مستطيل 1.00×0.15 م وتتعرض لحمل مركز قدره 3 طن إحسب الهبوط الأقصى اذا كانت الرطوبة النسبية = 55 % وتم التأثير بالحمل بعد 7 أيام من الصب عند مقاومة 300 كجم/سم² إفرض أن $E_c = 200 \text{ t/m}^2$

الطريقة الأولى :

الخرسانة جيدة المقاومة بإستخدام المعادلتين (6-9) ، (7-9)

$$\Phi_{\max} = 1.25 + 2.75 (0.69) = 3.10$$

$$\Phi_{\min} = 0.75 + 0.825 = 1.60$$

$$\Phi_{\text{av}} = 2.35$$

$$\text{المساحة السطحية} = 2300 \times \text{البحر مم}^2$$

$$\text{الحجم} = 150 \times 1000 \times \text{البحر مم}^3$$

$$65 = 2300 / 150000 = V/A$$

$$CS = 1.36 \quad (5-9) \quad \text{جدول رقم}$$

افرض أن القطاع غير مشرخ

$$M_{mt} = 1.8 - 1.8 (300/400 - 0.375)$$

$$M_{mt} = 1.8 - 1.8 (0.75 - 0.375) = 1.125$$

- فى حالة الإجهاد 60 كجم/سم² يلاحظ أن الإنفعال الحرج بعد اعتبار الزحف أقل كثيراً من إجهاد الإنهيار وهو 10×3500 ولذلك لاخطوره على العمود فى تلك الحالة .
 - فى حالة إجهاد قدره 100 كجم/سم² نجد أن النسبة بين الإنفعالين وصلت لـ 0.45 وهذا يعنى أن العمر للمبنى سيقول .
 - فى حالة إجهاد 150 كجم/سم² وصلت النسبة إلى 0.85 وهذا يعنى أن المنشأ سيتعرض لمشاكل خلال سنوات قليلة .
 - فى حالة إجهاد 250 كجم/سم² فإنه إذا ترك المبنى ليؤزحف فبعد فترة وجيزة سينهار المنشأ لتخطى الإنفعال الإنفعال الأقصى ولهذا نجد أن كود الخرسانة يشترط ألا يزيد الإجهاد المسموح به لهذه الخرسانة فى الأعمدة عن 60 كجم/سم² ويجب على المهندسين عدم تغذية أية منشآت ولقد أثرت اعطاء هذا المثال لأوضح مدى الخطورة ومن المهم التأكيد على الدور الجيد لصلب التسليح لتقليل آثار الزحف .

$$\Phi = 2.35 * 1.36 * 1.125 = 3.6$$

$$l = 1.0(0.15)^3 / 12 = 2.8125 * 10^{-4} \text{ m}$$

$$y_0 = Pl^3 / 3E_c I .$$

$$= \frac{3.0 * 3^3}{3 * 200 * 2.8125} * 10 = 0.48 \text{ cm}$$

$$y = 0.48 (1 + 3.6) = 2.21 \text{ cm}$$

$$B = 2AC / Pc$$

طريقة الكود

$$= \frac{2 * 1000 * 150}{2300} = 130 \text{ mm}$$

من جدول (6-9)

$$\Phi = 3.8 \quad y = y_0 (4.8) = 2.30 \text{ cm}$$

بمقارنة النتيجة نجد كيف أن الكود المصرى سهل ويعطى قيمة متقاربة مع الطريقة الأولى للخرسانة عالية المقاومة .

مثال (2)

عمود قطاعه 0.4×0.4 ومقاومة الخرسانة 300 كجم/سم² إدرس احتمال الإنهيار السريع إذا حمل بالإجهادات التالية 60 ، 100 ، 150 ، 250 كجم/سم² إذا علم أن انفعال الإنهيار (e_{ue}) 10×3500 .
 استخدام طريقة الكود إذا تم تحميل العمود بعد اسبوع من الصب .

الحل :

نفرض أن معايير المرونة للخرسانة ثابت لجميع الإجهادات 300 طن/م² وبإهمال تأثير صلب التسليح

$$B = 2 * \frac{400 * 400}{4 * 400} = 200 \text{ mm}$$

$$\Phi = 3.8$$

$$e_{ue} = \frac{f_0}{E} (1 + \phi) * 10^{-6} = \frac{4.8}{300} f_0 = 0.016 * f_0$$

حيث e_{ue} الإنفعال الحرج الناتج فى الأعمدة عند إجهادات مختلفه وتلك الحسابات موضحة بالجدول التالى :

جدول (8-9) حسابات المثال السابق

الإجهاد بالطن /سم ²	0.06	0.10	0.15	0.25
f_0/f_{cu}	0.2	0.33	0.5	0.83
α'	1	1	1.25	1.25
$e_{ue} 10^{-6}$	960	1600	3000	9800
e_{ue}/e_u	0.27	0.450	0.85	> 1.0